WALKER LDJ SCIENTIFIC, INC.

WALKER – SINCE 1896 – OVER A CENTURY OF QUALITY

FGM-5DTAA

取扱説明書

WALKER LDJ SCIENTIFIC INC.
Rockdale street Worcester,MA 01606 USA
Tel (508) 852-3674 Fax (508) 856-9931
E-mail: info@walkerscientific.com

URL: http://www.walkerscientific.com

目次　　ページ

概要　及び　仕様 …… 4
高分解能 …… 4
2つのベクトル表現 …… 4
選択可能な単位 …… 4
相対表示モード …… 4
アナログ出力 …… 4
リモート操作 …… 4
データの記録 …… 5
　技術仕様 …… 5
　一般的仕様 …… 6
操作方法 …… 7
プローブの接続 …… 7
電源 …… 7
AUTO-OFF モード …… 7
液晶Mディスプレイ …… 8
キーパッドコントロール（概要） …… 9
　key #1 - Control　RS-232/KEYPAD …… 10/11
　Key #2 - Record　7.5SEC/30.0SEC …… 10/11
　Key #3 - Enable　MANUAL/SAMPLE …… 10/12
　key #4 - Cordinate　POLAR/RECT …… 10/13
　Key #5 - Enable　POWER DOWN/AUTO OFF …… 10/14
　Key #6 - Measure　RELATIVE/ABSOLUTE …… 10/14
　key #7 - Output　GAIN/CAL …… 10/15
　Key #8 - Select　VECTOR/UNITS …… 10/16
　Key #9 - Enable　DAL …… 10/16
　key #10 - Scroll　RS-232 …… 10/16
　Key #11 - Data　DISPLAY/OPTIONS …… 10/16
　Key #12 - Return　ESCAPE …… 11/17

Shift 11/17
Anolog Output 17
リモート操作 18
RS232 インターフェース 19
命令 19
測定について 21
磁場の単位 21
磁場ベクトルについて 21
地球の磁場 23
コンパスとしての FGM-5DTAA 23
地球磁場の測定 24
静磁場の測定 25
データの取り込み 26
データ整理(換算) 28
動作について 29
フラックスゲートの原理 31
アナログ磁力計 32
信号処理 33
保守 34
センサプローブ 34
測定器本体 34
乾電池の交換 34
センサおよびケーブルコネクタのクリーニング 35
較正について 35
保証 36

図

図１ FGM-5DTAA の前面パネル 9
図 2.1 プローブに対する座標系 13
図 2.2 座標系の各成分の定義 13
図３ アナログ出力コネクタ 18
図４ FGM-5DTAA における磁場ベクトルの関係 22
図５ 対象の磁気モーメントをはかるときの最初の位置関係 27
図６ FGM-5DTAA の機能ブロック図 29
図７ リングコアフラックスゲートの動作 31
図８ FGM-5DTAA の１チャンネルの簡単なブロック図 32
図９ FGM-5DTAA の信号処理系のブロック図 33

表

表１ FGM-5DTAA キーパッドコマンドの説明 10
表２ 出力ゲインに対するスケールファクタとレンジと分解能 15
表３ ピン 6,7,8 のアナログ出力とベクトルの関係 18
表４ RS232 D コネクタピン配置 19
表５ リモートコマンドのリスト 20
表６ 米国のいろいろな都市での地磁気成分 25
表７ FGM-5DTAA 交換用乾電池 34

概要　及び　仕様

FGM-5DTAA Vector Fluxgate Magnetometer は、精度良く磁場ベクトルを測定する測定器です。小さく携帯性に優れ、研究所での使用同様にフィールドでも使用できます。

高分解能

5 桁ディスプレイは、100,000 nT の磁場で 1nT の分解能を有します。

地球の磁場のような大きな磁場中での、磁場の僅かな変化を測定することができます。

2 つのベクトル表現

ディスプレイに、直交座標表示（X、Y、Z）もしくは極座標表示（R、D、I）のどちらかを表示できます。極座標表現は、特に磁場の大きさと方向を測定するのに有効です。手動計算は必要ありません。

選択可能な単位

磁場強度を表示する場合、ナノテスラ（nT)、microtesla（mT）またはミリガウス（mG）の 3 つ単位のうち一つを使用することができます。変換定数を覚える必要はありません。

相対表示モード

相対的表示モードは、初期値からの磁場ベクトルの変化を測定します。単に、RELATIVE/ABSOLUTE キーを押すことで、今まで表示されていた値をゼロにし、その後はキーが再び押されるまで、その値からの変化が表示されます。

アナログ出力

生のアナログ信号（処理された信号と同様に）は、8-ピン microDIN コネクタから出力され、記録したり、更に別の処理をする為に使用することができます。生の信号は、広帯域の交流磁場測定に役立ちます。処理された信号の出力値は、選択されているベクトル表示に一致しています。

8 つのゲインが選択でき、そのうちの一つを、より高い出力電圧で出力するために処理された信号に適用することができます。

リモート操作

FGM-5DTAA は、9600bps で、標準の RS232 シリアル接続を通して、遠隔制御することができます。遠隔モードでは、測定パラメーターをセットし、サンプルを取り込み、データを記録し、以前に記録されたデータを検索することができます。

データの記録

FGM-5DTAA は、3 つのデータ記録モードを持ちます。

7.5SEC、30.0SEC と MANUAL です。

7.5SEC は、1 秒につき 69.5 回の測定で、7.5 秒間データを記録します。

30.0SEC は、1 秒につき 17.4 回の測定で、30 秒間データを記録します。

MANUAL モードは、サンプリングをユーザが決めます。

記録されたデータは、ディスプレイで見ることができ、アナログ出力に送られ、あるいは RS232 ポートを通して、離れた場所で検索することができます。

技術仕様： NIST に基づく証明

磁場測定

成分	レンジ	分解能	精度[1]
X . Y . Z	±100,000nT	1 nT	±(読みの 0.25%＋20 nT)
R(resultant)	173,205 nT	1 nT	±(読みの 0.5%＋20 nT)
D(declination)[2]	±180 度	0.1 度	1 度
I(Inclination)[3]	±90 度	0.1 度	1 度

1 25°C±5°C.

2 X 軸と XY 平面への磁場ベクトルの投影ベクトルとの角度。

3 磁場ベクトルと XY 平面間の角度。

アナログ出力

パラメータ	DAC 出力	アナログマグネットメータ
Number	3[1]	3[2]
Gains	1 ,2 ,4 ,8 ,16 ,32 ,64 ,128	None
Gains	1 ,2 ,4 ,8 ,16 ,32 ,64 ,128	None
電圧レンジ	±2.5V	±2.5V
スケール係数	24.41 × gain μV/nT	2.4μV/nT
精度	フルスケールの±1%	フルスケールの±5%
分解能	12 ビット	―
周波数特性	DC～10Hz(通常)	DC～ >100Hz

1 選択モードと座標に基づく真の又は相対的値に対応します。

2 真の直交成分に対応します。

データ保存

パラメータ	SnapShot	Record	Manual
点数	525	525	525
測定時間	7.5 秒	30 秒	ユーザ設定
サンプルレート	69.5 点/秒	17.4 点/秒	ユーザ設定

シリアルポート: 3 線式 RS232 ポートの設定は、9600 ボー、1 スタートビット、1 ストップビットとパリティチェックなしです。

角度調整精度： X 軸と Y 軸センサーはそれぞれ±0.25 度以内でベース表面の長さと幅方向に平行に配置され、Z 軸センサーは±0.25 度以内のベース表面に垂直に設置されています。このセンサーは、右手系になるように取りつけられています。

一般的仕様

使用環境温度	0～50℃
電源:	2 つの 9V 乾電池。リチウム電池はより好ましい.アルカリ乾電池も使用することができます。通常の動作消費電力は、550mW です。パワーダウンでの電力消費は、20mW です。
動作可能時間	リチューム電池では連続 24 時間。アルカリ乾電池では連続 4 時間使用できます。FGM-5DTAA はキー操作が 10 分間なかった場合、自動的にパワーダウン状態になります。 これはアナログ回路の電源供給を停止し、電池の消耗を減らします。どれかキーを押すことで元に戻り表示パネルがひかります。FGM-5DTAA は、パワーダウン状態でリチューム乾電池が消耗するまで、最高 150 時間持ちます。
プローブ寸法	25.4mm W x 25.4mm H x 100.6 mm L (1"W x 1 "H x 4")
本体ケース	100.1 mm W x 39.9 mm H x 196.1 mm L (3.94"W x 1.57 "H x 7.72"L)
プローブと本体を繋ぐケーブルの長さ	2.13m (7') 最大 30.5mm まで指定可能
ディスプレイ	2 列、16 文字表示/列の LCD。表示領域寸法は 89.4 mm L x 13.7 mm H (3.54" L x 0.54"H)です
重さ	センサーも含んで 0.539 kg (1 .2#)
キャリングケース	付属します

操作方法

この章は、FGM-5DTAA の操作方法について述べます。

本体ケースの左側にある電源 ON/OFF スイッチと本体ケース上のキーパッドを押すことで、FGM-5DTAA を操作します。LCD は、測定値と機器状態を表示します。

ケーブルで本体と接続しているプローブは、磁場ベクトルの 3 つの成分を測るための 3 つの磁気センサーを含んでいます。磁場ベクトルを測りたい場所にプローブを置きます。

本体の右側にある microDIN コネクタは、FGM-5DTAA アナログ電圧信号を外部の記録装置またはオシロスコープに接続するために使用できます。FGM-5DTAA は、また、標準の 3 線式 RS232 シリアル通信ポートを通して、コンピュータで制御することができます。

プローブの接続

FGM-5DTAA の電源を入れる前に、付属のケーブルを使ってプローブを FGM-5DTAA 本体に接続します。ケーブルのどの端がプローブでどちらが本体側かは重要ではありません。

もし複数のシステムを持っている場合は、プローブのシリアル番号と本体のそれが同じものを使用して下さい。プローブや本体を取り開けて使用したり、ケーブルを取り替えたり、長さの異なるケーブルを使用しないで下さい。どれも FGM-5DTAA の較正が無効なります。

電源

FGM-5DTAA の電源スイッチは、本体の左側にあります。

FGM-5DTAA の電源を入れた後、システムをデフォルトの状態（直角座標系、X 軸ベクトル、絶対測定モード）に初期化します。X 軸ベクトルの値は、およそ 2 秒後液晶ディスプレイ上に現れます。もし "O.L." がフィールド値の代わりにスクリーンの上に現れた場合は、電源を切って下さい。プローブを別の場所に移動してから、FGM-5DTAA を再度オンにして下さい。測定ベクトル成分の値が±102,400 nT を越える場合、またはプローブが本体に接続されていない場合、FGM-SDTAA は "O.L."を表示します。

AUTO-OFF モード

電力消費は、AUTO-OFF 機能を使用することによりかなり減らすことができます。

AUTO-OFF 機能を有効にしている場合（デフォルトの状態）、FCM-5DTAA は 10 分間キーパッドが押されなかった時はパワーダウンモードになります。FGM-5DTAA をパワーダウンの状態で置くことも、AUTO-OFF 機能を無効にすることもできます。フロントパネルキーパッドコントロールを説明している章を参照して下さい。

パワーダウン状態では、磁場測定は行われず、アナログ回路へ電気は供給されません。そして液晶ディスプレイに "Press any key to start" とメッセージが表示されます。どれかキーを押すと、FGM-5DTAA は測定可能な状態に戻ります。ある期間、磁場の変化をモニターする場合、決められた間隔（例えば１分間隔で）で測定をおこなうだけでの場合これは便利な機能です。FGM-5DTAA を測定と測定の間でオフにすると、再び電源をいれるその度に、必要な測定状態に機器をリセットしなければなりません。

FGM-5DTAA が MANUAL サンプル記録モードの場合は、測定値を記録している間、FGM-5DTAA をオフにすることはできませんが測定と測定の間に、バッテリーの消耗を減らすためにパワーダウンの状態にしておくことはできます。

液晶ディスプレイ

FGM-5DTAA ディスプレイは、16 文字×2 行表示です。

ディスプレイは、7 つの領域（添付の図を参照）に分けられます。

左の角の上下に表示されている 3 つのキャラクタは、電池の低容量情報、AUTO-OFF 無効、SHIFT キーがアクティブかの情報を提供します。

上のラインの 5 番目ののキャラクタは、測定ベクトルを、その右側には 8 つのキャラクタが表示ます。そのベクトルの値に続くキャラクタがもし真値を測定していれば（RELATIVE モード）ブランクです。またはベクトルの変化量を測定するモード(RELATIVE モード)であれば"#"が表示されます。上のラインの最後の 2 つのキャラクタは、測定単位（nT、mT または mG）を表わしています。

下の行の 4 番目から 13 番目目でのキャラクタは、メッセージを表示します。

FGM-5DTAA をオンにしたとき表示されるメッセージ "Keypad" は、FGM-5DTAA がローカルキーパッドモードであることを示しています。RS-232 キーが押さた場合、メッセージは"RS-232" に変わり、FGM-SDTAA が遠隔モードであることを示しています。

再度、RS-232 キーを押すと、ローカルキーパッドモードになります。

下の行の１番右の 3 つのキャラクタは、表示されているベクトル成分のアナログデジタルコンバータ(DAC)のアナログ出力ゲインを示しています。

手動サンプリングのときは、保存されたサンプルの数がここに表示されます。

記録データを見るとき、この表示されている数字は、サンプル数を示しています。

キーパッドコントロール（概要）

図１ に、FGM-5DTAA ディスプレイとキーパッドコントロールを示します。

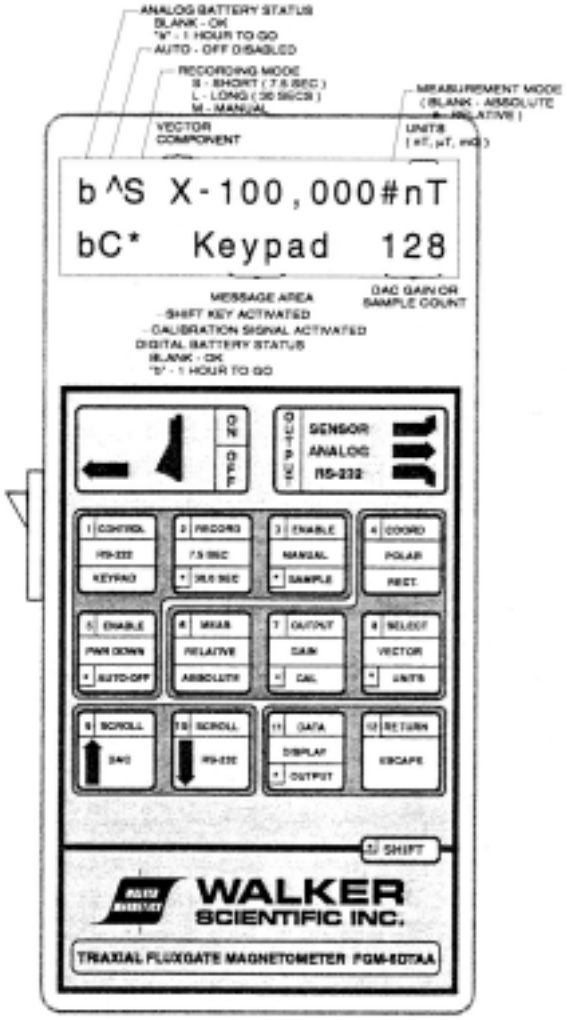


図１　FGM-5DTAA の前面パネル

次の表に、キーパッドを押すことでアクティブになる FGM-5DTAA の関数について説明します。

表 1　FGM-5DTAA キーパッドコマンドの説明

Key#	Key	Description
1. Control	RS-232/KEYPAD	キーパッド制御と RS232 シリアルポート制御の切り換え。
2. Record	7.5 SEC	7.5 秒測定を開始する。
	30.0 SECI	30 秒測定を開始する。
3. Enable	MANUAL	手動データ記録の有効/無効の切り換え。
	SAMPLE[1]	１個の測定値を記録します。手動記録モードにして下さい。
4. Coord	POLAR/RECT	直交座標系（X、Y、Z）と極座標系（R、D、I）の切り換え。
5. Enable	PWR DOWN	FGM-5DTAA の電源をダウンし、液晶ディスプレイに"Press any key to start" と表示します。
	AUTO-OFF[1]	AUTO-OFF の有効／無効切り換え。オートオフが有効の場合、状態を表示する領域にキャラクタ "^" が表示されます。
6. Measure	RELATIVE/ABSOLUTE	絶対値測定モードと相対値測定モードの切り換え。相対値測定モードでは、ベクトル成分値が表示されている右側に "#" が現われます。このキーが押されたとき、表示は存在する初期値からの変化が表示されます。
7. Output	GAIN	8 つの DAC 出力ゲイン設定のうちの１つを選択します。
	CAL[1]	出力を 0, +100,000、-100,000 と階段状に変化する電圧の表示と DAC に出力します。DAC 出力または外部の記録装置を調整するために使うことができます。
8. Select	VECTOR	表示するベクトル成分を選択します。
	UNITS[1]	表示単位、nT, mT, mG を選択します。
9. Scroll	DAC	キー9 と 10 の関数は、DISPLAY か OUTPUT ファンクションが有効になっているかに依存します。
10.Scroll	RS232	
11. Data	DISPLAY	LCD に記憶データを表示します。このキーが押されたあと、SCROLL キーが有効になり、スクロールアップで次のサンプルを表示し、スクロールダウンで前のサンプルを表示させることができます。サンプル番号は、ディスプレイの右下角に表示されます。通常動作に戻るためには、ESCAPE を押してください。

	OUTPUT[1]	DACS または RS-232 ポートに、記憶データを送ります。このキーが押されたあと、SCROLL キーでデータを送るところを決定します。SCROLL DAC キーを押すと、DAC にデータが送られます。SCROLL RS-232 のキーを押すと、RS-232 ポートにデータが送られます。通常動作に戻るためには、ESCAPE を押してください。
12. Return	ESCAPE	ESCAPE キーは、DISPLAY または OUTPUT キーが押される前の状態に、FCM-5DTAA を戻す為に使います。
	SHIFT	FGM-5DTAA キーパッドの関数を切り換えます。

＊ 1 この機能を有効にするために最初　SHIFT キーを押さなければなりません。

キーパッド制御（詳細）

#1　コントロール　RS-232/KEYPAD

#1 キースイッチは、ローカルとリモートモードとを切り換えます。

リモートモードでは、 ディスプレイのメッセージが表示される部分に"RS-232" と表示されます。(図 1 参照）リモートモードではキーパッドは使用できません（RS-232 のキー#11 を除いて)、そして、FGM-5DTAA は RS232 通信ポートを通して受け取られる命令に応答するだけです。また、AUTO-OFF 機能は使用不能となります。リモートモードの詳細は次の章で述べます。リモートモード中にこのキーが押されると、FGM-SDTAA はローカルモードになりディスプレイのメッセージが表示される部分に"Keypad"が表示されます。

#2　記録　7.5 SEC/30 SEC

#2 キーを押すと、7.5 秒間のデータ記録を始めます。キーパッドは記録している間は使用不能となります。そして、ステイタス表示領域に"S"が表示されます。磁場の３つのベクトル成分は、1 秒につき 67.5 点の速度で測定され、保存されます。保存された値は、選択された座標系と各成分の測定モード（ABSOLUTE または RELATIVE）に依存します。キー#2 の後に SHIFT キーを押すと、30 秒間のデータ記録を始めます。キーパッドは記録している間は使用不能となります。そして、ステイタス表示領域に "L"が表示されます。磁場の３つのベクトル成分は、1 秒につき 17.4 点の速度で測定され、保存されます。保存された値は、選択された座標系と各成分の測定モード（ABSOLUTE または RELATIVE）に依存します。

#3 Enable MANUAL/SAMPLE

MANUAL キーを押すと、手動によるデータ記憶モードになります。キーパッドは記録する間使用不能になります（MANUAL、SAMPLE、VECTOR と PWR DOWN を除いて)。そしてステイタス表示領域に "M" が表示されます。磁場の３つのベクトル成分は、指定したレートで測定され、保存されます。保存された値は、手動によるデータ記憶モードにしたときの、座標系と各成分の測定モード（ABSOLUTE または RELATIVE）に依存します。

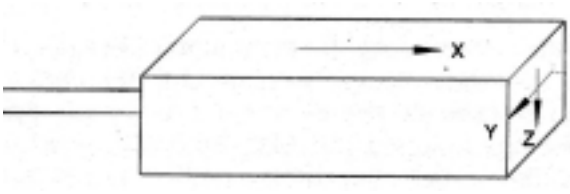
手動記憶モードが最初に開始されるとき、保存バッファにはゼロとなります。
SAMPLE キーを押した後、SHIFT キーを押すと、磁場成分の現在の値を保存して、ディスプレイに表示されている記憶データ総得点を増加させます。ディスプレイの右下の３つの文字は、保存されたサンプルの数を示します。手動データ記憶をな化し中止する場合は、もう一度 MANUAL キーを押します。

手動データ記憶が完了した後に、データが外部デバイスに転送されるまで、または記録するまで、新しいデータ記憶を始めないで下さい。新しいデータ記憶機能（7.5SEC、30.0SEC または MANUAL）を開始すると、バッファ内の全てのデータは消えてしまいます。FGM-5DTAA 電源を切っても、記憶データは消えることはありません。手動測定で測定間隔が広い場合（例えば数分)、バッテリを節約する為に FGM-5DTAA（PWR DOWN の説明を参照）をパワーダウン（電源を切るのではなく）することができます。
FGM-5DTAA がパワーダウンの状態から復活すると、パワーダウンする前の状態で動作します。その為、手動データ測定をすぐに続けることができます。

全ての測定が終了するまで、FCM-5DTAA の電源を切らないで下さい。電池を節約するために、パワーダウンを行ってください。

#4 座標系 POLAR/RECT

キー#4 は、直交座標系と極座標系を切り換えます。座標系は、図 2 で示すセンサープローブに関して定義されます。直交座標系ではセンサプローブケース上に表示されている各ベクトル成分の矢印の方向が正の値の方向です。



BASE

図 2.1 プローブに対する座標系

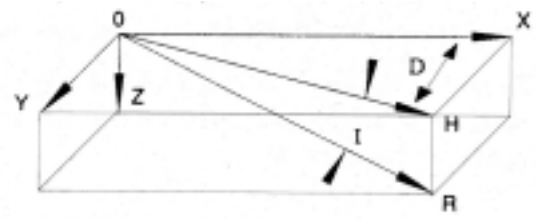


図 2.2 座標系の各成分の定義

極座標系では、R(resultant)は磁場の大きさを示し、D(declination)と I(inclination)の角度は X-Y 平面に対する磁場ベクトルの方向を示します。

D は、X-Y 平面上に投影した磁場ベクトルと X 軸との間の角度です。

正の角度は、投影ベクトルが X 軸に対して時計回りに回転する方向です。

D の角度範囲は、-180 ° から+ 180 ° です。

I は、磁場ベクトルと X-Y 平面間の角度です。

I の角度範囲は、-90 °（上の方向）から+90 °（下の方向）です。

#5 Enable - PWR DOWN/AUTO OFF

キー#5 を押すと、FGM-5DTAA はすぐに全ての測定機能が停止するパワーダウンモードの状態になります。アナログ回路はオフになります。パワーダウンモードは、FGM-5DTAA の電力消費を減らしバッテリ寿命を伸ばします。パワーダウンの状態でどれかキーを押すとパワーダウン状態になる前の測定状態に戻ります。表示されたベクトル成分が RELATIVE 測定モードの場合、表示された値が RELATIVE/ABSOLUTE キーを押してからの磁場の変化を表示します。パワーダウンモードから測定モードに戻ったとき、FGM-5DTAA が MANUAL サンプリングモードの場合、マニュアルサンプルモードを継続して行えるようになります。AUTO-OFF キーを押した後に SHIFT キーを押すことにより、AUTO-OFF 機能を使用可能または使用不可にすることができます。

AUTO-OFF 機能が使用可の場合（デフォルトモード）、FGM-5DTAA は 10 分間キーパッドが押されなかった場合、パワーダウン状態に入ります。このキーを押すことでもし AUTO-OFF 機能が入っていなければこの機能が On になり、On であれば機能は OFF になります。AUTO-OFF 機能が OFF の状態では、電源スイッチが切られ又は、AUTO-OFF 機能を On にするまで FGM-5DTAA はフルパワーの状態で動作します。AUTO-OFF 機能が OFF のときは、ステータスを表示している部分に"A"が表示されます。

#6 Measure - RELATIVE/ABSOLUTE

RELATIVE/ABSOLUTE キーを押すと、ABSOLUTE と RELATIVE 測定モードを切り替えます。

RELATIVE モードで、測定値に続いて表示されるキャラクタは「#」か空白です。

RELATIVE モードで、表示されている磁場ベクトル成分の値は、このキーが押された時保存され、以降の測定からその値を差し引きます。RELATIVE モードでは、表示される値はこの初期値からの磁場の変化です。測定することができる変化の範囲は以下の式によって与えられ、初期値に依存します。

Maximum positive change = +100,000 nT - initial field value

Maximum negative change = -100,000 nT - initial field value

この測定モードは、表示されているベクトル成分にのみあてはまります。各ベクトル成分の測定モードは、独立に設定することができます。たとえば、Z 成分が相対モードで、X と Y 成分が絶対モードということもありえます。DAC アナログ出力は、測定モードと表示されたベクトル成分で指定したゲインに依存します。次の章のゲインについての詳細を参照して下さい。

#7 Output - GAIN/CAL

このGAINキーパッドは、表示されるベクトルの成分に関するDAC出力のゲインを設定します。GAINは、DAC出力スケールファクター（mV/nT）とダイナミックレンジを決定します。スケールファクターは、ゲインとゲイン１でのスケールファクターの積です。出力のフルスケール範囲はゲインに反比例します。ゲイン1の成分に対するDAC出力のフルスケールレンジは100,000 nTで、ゲイン2に対する成分のDAC出力は50,000nTなります。DAC出力の分解能は、12ビット（4096分の1）です。次の表は、スケールファクター、レンジと8つの設定可能なゲインの設定値に対する分解能を示します。

表２　出力ゲインに対するスケールファクタとレンジと分解能

Gain	Scale	Factor (V/nT)	Range (nT)
1	24.41	±100,000	50.00
2	48.83	±50,000	25.00
4	97.66	±25,000	12.50
8	195.3	±12,500	6.25
16	390.6	±6,250	3.13
32	781.3	±3,125	1.56
64	1.56mV/nT	±1,563	0.78
128	3.13 mV/nT	±781	0.39

GAINキーが押されるたびに、ゲインは128まで2倍ずつ増加します。さらにキーを押すと、1に戻ります。

DACに対する高解像度の磁場変化測定を出力するために、最初の磁場をゼロにし、RELATIVE/ABSOLUTEを使用して下さい。そして、要求する磁場変化の範囲に対し、最大の分解能を得られるまでゲインを上げてください。

CALキーパッドは､外部に取付けられたレコーダーまたはデータ記録装置を較正するための信号をDACアナログ出力に送ります。この機能を使用する前に、全ての3つのベクトル成分をABSOLUTE測定モードに設定て下さい。SHIFT+CALキーを実行すると、一番最初に、ゼロ（0）値が、ディスプレイと全ての3つのDAC出力に送られます。

次にディスプレイと DAC に+FS（100,000 nT）値を出力します。

三番目にディスプレイと DAC に -FS を出力します。四番目に階段状の三角波信号を発生します。信号は 0 になるまで毎秒 20,000nT ずつ減少し、0 で 2 秒間停止し、その後-FS まで同じ割り合いで減少します。そこでまた 2 秒間停止します。そして再び+FS まで毎秒 20,000 nT で変化します。途中の 0 で再び 2 秒停止します。+FS まで増加し、FGM-5DTAA を通常動作にする為に SHIFT+CAL キーを実行するまでこれは繰返し行われます。

#8 Select - VECTOR/UNITS

VECTOR キーを押すとで、表示するベクトル成分を選択します。ベクトル成分は、選ばれた座標系に依存します。直角座標系では、X-Y-Z-X です。極座標系では、R-D-I－R です。磁場の単位を選択する場合、最初に SHIFT キーそれから UNITS キーを押すことによって表示する磁場単位を選びまうす。

SHIFT キーを押した後に、別のキーが押されるか、あるいは SHIFT キーが再び押されるまで、"*"はステイタス表示領域に表示されます。単位選択の順序は、nT-mT-mG-nT です。選ばれた単位は、全ての表示される磁場値に適応されます。

#9, 1O & 11 - Data - DISPLAY/OUTPUT

キー9、10 と 11 は、記録データを見るあるいは処理するためにいくつかのオプションを与えます。DISPLAY キー#11 を押すと、最初に保存された値が表示されます。ディスプレイの右下の 3 つのキャラクタは、サンプル番号を示します。SCROLL キー#9 と#10 は、記録データのスクロールに使います。上向き矢印の SCROLL キーを押すと、サンプル番号は増加して、次の値が表示されます。下向き矢印の SCROLL キーを押すと、サンプル番号は減少し、前の値を表示します。ESCAPE キー#12 を押すと、FGM-5DTAA は通常動作になります。

SCROLL キーは 7.5SEC、30.0SEC または MANUAL 記録を使って保存されたデータポイントを調べるために使うことができます。

VECTOR キーは、測定値の記録された各ベクトル成分の値を見るために使われます。

サンプル記録バッファは、合計 525 点のサンプルを保存します。

手動点検で全ての保存された値を見ることは大変です。データをより簡単に見る方法は、DAC アナログ出力に、またはコンピュータ端末へデータを RS232 で送ることです。

OUTPUT キーに続いて SHIFT キーを押すと、SCROLL キーの機能が再定義されます。このモードには、キー#9 を押すことで、DAC アナログ出力にデータを送ります。キー#10 を押すことで、RS232 ポートにデータを送ります。DAC に出力データを出力する為にキー#9 を押す前に、GAIN と VECTOR キーで各ベクトル成分のゲインを設定することができます。CAIN キーの章で、DAC 出力スケールファクター、レンジと分解能のゲイン設定の効果について述べます。リモート操作に関する章では、RS232 ポートから送られるデータのフォーマットとリモートターミナルの通信パラメータ要求事項について述べます。

#12 Return-SCAPE

ESCAPE キーは、DISPLAY または OUTPUT キーが押される前の状態に FGM-5DTAA を戻すために使います。

SHIFT

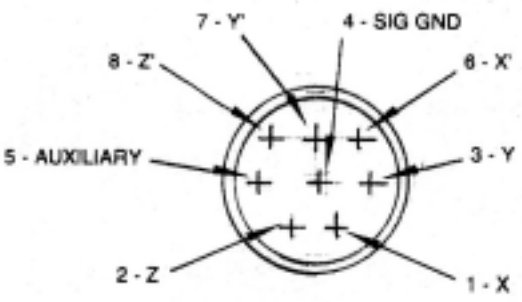
SHIFT キーを押すと、キーパット上に"*"のついているキーの機能を切り換えます。SHIFT を押た後に、"*" がステイタス表示領域に表示され、代替の機能が動作中であることを示しています。なにかキーが押されたり、SHIFT キーが再び押された場合 "*" は消えます。

アナログ出力

アナログ出力は、FGM-5DTAA のパネル上部の 8 ピン microDIN コネクタから取れます。図 3 は、コネクタの形とピン配置を示します。アナログ出力のための雄コネクタは、8 本のピン miniDIN プラグです。それは Cinch-PN. MDC-8P からケーブルの長さを変えて利用できます。

アナログ磁力計出力信号は較正されていませんが、精度は±5%よりよいです。出力は磁場ベクトルの直交座標成分の値と一致します。また出力レンジとスケールファクターは固定されます。アナログ磁力計の周波数応答は 100Hz 以上で、FGM-5DTAA の基本的なデジタル信号処理の応答周波数が 10Hz なので、これを越える信号周波数の測定をするときに役立ちます。

DAC 出力信号は、FGM-5DTAA によってデジタル的に処理され較正された信号です。DAC 出力スケールファクター、レンジ、分解能とベクトル成分の関連は、選ばれた座標系、個々の成分のゲインと個々の成分の測定モード（ABSOLUTE または RELATIVE）によって決定されます。これらの出力がゲインによる影響についての説明は、GAIN キーの章を見て下さい。測定モードが DAC 出力にによる影響についての説明は、ABSOLUTE/RELATIVE キーの章を見て下さい。



アナログ出力コネクタ
（本体ケースの横からの図）

注：X,Y,Z は生のアナログ出力
X^1,Y^1、Z^1 は処理された
アナログ出力

図 3 アナログ出力コネクタとピン配置

注: 極座標表示が選ばれたとき X^1、Y^1、Z^1 DAC 出力は、R、D、Ｉと一致します。

表 3 ピン 6 ,7, 8 のアナログ出力とベクトルの関係

ピン	直交座標系	極座標系
6	X1	R
7	Y1	D
8	Z1	I

リモート操作

この章は、FGM-5DTAA が RS232 インタフェースを通じてどの様にコンピュータで制御できるかについて説明します。FGM-5DTAA は、１つの測定値の送信、7.5SEC または 30.0SEC 測定の開始、座標系の設定/読み、表示成分の設定/読み、測定モードの設定/読み、記録されたデータバッファーの内容の送信、FGM-5DTAA をデフォルト状態に設定します。

RS232 インターフェース

専用ケーブルは付属し、このケーブルの FGM-5DTAA 側の片端は 3 線のミニ電話プラグで、もう片方側のコンピュータあるいはターミナル側端は２５ピン D サブメスコネクタとなっています。D コネクタ配線は、IBMPC 互換のコンピュータのシリアルコネクタ（com）と互換性を持ちます。それは、DTE オペレーションで構成されます。３線のみ使用し、ハードウェアまたはソフトウェアハンドシェークはありません。RS232 出力の雄コネクタは、LDR Electronics PN. DC-12 です。

表 4 RS232 D コネクタピン配置

ピン	信号	詳細
2	TX	FGM-5DTAA からのデータ送信
3	RX	コンピュータあるいはターミナルからのデータ受信
7	SG	シグナルグランド

データは、9600 のボーレート、1 スタートビット、8 データビット、No パリティビット、ワンストップビットで送られます。全てのデータバイトは、ASCll キャラクタとキャリッジリターン<cr>-制御コード（OAH)、または FGM-5DTAA からデータ伝送の終わりを示すために使われる送信の終わり<EOT>-制御コード（04H）です。

命令

FGM-5DTAA に送られる命令は、1 から 3 つまでのキャラクタからなる ASCll 文字列です。FGM-5DTAA からの反応は、<EOT>制御コードが続く ASCll 文字列から成る。命令が受け入れられた場合、すぐに'A' あるいは'E' が返されます。命令を送って、反応を受けるためには、FGM-5DTAA がリモートモードでなければなりません。さもなければ、命令が送られたとき、FGM-5DTAA からは応答がありません。FGM-5DTAA は、RS-232 のキーを押すことでリモートモードになります。FGM-5DTAA がリモートモードの間、ディスプレイのメッセージを表示する部分に"RS-232"に表示されます。そして RS-232 キー以外のキーパッドは使用不能になります。再度 RS-232 のキーを押すと、ローカルコントロールに戻ります。

以下の表は、命令と FGM-5DTAA 反応を示します。

表５　リモートコマンドのリスト

Command	Description	Responce
*	Set the FGM-5DTAA をデフォルト状態にします。直交座標系、X 成分、ABSOLLUTE 測定モード	A<EOT>
?	１つのデータをとり、選択した座標系の３つの成分を返します。その値は、成分で選択したモードに基づき絶対値あるいは相対値です。	A<EOT> <comp l>, <comp 2>, <comp 3><cr>D<EOT>
D	7.5 SEC, 30.0 SEC あるいは MANUAL 測定で測定し保存してあるデータを送ります。	A<EOT> <type>[1], <coord>[2], <mode>[3], <comp 1>, <comp 2), <comp 3> <cr>..... <comp 1>, <comp 2), <comp 3> <cr>D<EOT>
GM	現在表示されている成分に対する測定モードを得ます。	AOD<EOT>絶対値測定の場合。A1D<EOT> 相対値測定の場合
GC	現在表示している成分を得ます。この成分は、選択している座標系に依存します。	AOD<EOT> X 成分あるいは R 成分の場合。A1D<EOT> Y 成分あるいは D 成分の場合 A2D<EOT> Z or I
GX	現在の座標系を得ます。	AOD<EOT> 直交座標系。A1D<EOT> 極座標系。
SMO	測定モードを ABSOLUT にします。	A<EOT>
SM1	測定モードを RELATIVE にします。	A<EOT>
SXO	座標系を直交座標系にします。	A<EOT>
SX1	座標系を極座標系にします。	A<EOT>
SC0	表示する成分を X もしくは R にします。(座標系に依存します)	A<EOT>
SC1	表示する成分を Y もしくは D にします。(座標系に依存します)	A<EOT>
SC2	表示する成分を Z もしくは I にします。(座標系に依存します)	A<EOT>
RS	7.5 SEC 測定にします。 測定が終了した後に、<EOT>制御 の続いて"D" を送ります。	A<EOT>D<EOT>
RR	30.0SEC 測定にします。測定が終了した後に、<EOT>制御 の続いて"D" を送ります。	A<EOT>D<EOT>

1<type> 7.5SEC では'S'、30.0SEC では'L'、MANUAL では'M'

2<cord> 直交座表系では 0、極座標では 1

3<mode> 測定モードの表示：0-全て絶対値、1-成分 1 が相対値、2-成分 2 が相対値、

3-成分１と 2 が相対値、4-成分３が相対値、5-成分１と３が相対値、

6-成分２と３が相対値、7-全て相対値

'？'コマンドを使って別々に測定する時の最大の測定速度は、１秒に１回です。

測定について

この章は、磁気計測の効果と精度を改善する手法について述べます。

磁場の単位

この分野で一般的に使われる単位は、弱い磁場では、ナノテスラ（nT）またはガンマ（g）です。磁場大きさの単位としては、よくミリガウス（mG）またはマイクロテスラ（μT）が使われます。強い磁場では、ガウス（G)、Oersted（Öe）またはTesla（T）が使われます。使われているもう一つの単位は、Ampere/meter（A/m）です。

測定のこれらの異なる単位は、磁場計測器のユーザーの間でしばしば混乱を引き起こします。これらの単位の全ては、相互に関係づけられます。Oersted と Ampere/meter だけは、磁気場の強さを指定するための適当な単位です。他の単位は、透磁性と呼ばれている物質の特性を通して磁気場の強さと関連がある磁束密度をあらわします。それは空気の透磁率が cm-g-s（cgs）単位系では1であり、大部分の測定は空気中で行われます。これらの状況の下で、磁束密度の大きさと、場の強さ大きさは、同じものであって、時々単位を取り換えて使っています。

単位の関係を、下に示します

1 nT =1 g

1 G = 10^5 g

1 A/m = 4π x 10^{-3} Öe

1 T = 10^4 G

1mG = 0.1 μT

FGM-5DTAA は、nT、μT または mG を、表示する磁気場の強さの単位として選ぶことができます。

磁場ベクトルについて

磁場はベクトルです。空間の中のどんな点でも磁場に大きさと方向があります。それを図 4 に示します。ベクトルは通常ベクトルの方向を示す矢印により表記され、ベクトル大きさと比例して長さを表示します。磁場ベクトルは、お互いに直角の角度である 3 つの成分ベクトル（X,Y,Z）に分けられることができます。これはベクトルの直交座標系と呼ばれています。ベクトルの大きさは、成分ベクトル大きさを 2 乗し、2 乗したものを合計して、それの平方根をとることで求まります。ベクトルはまた、その大きさ R と角度 D と角度 I で表記できます。それは極座標系と呼ばれます。

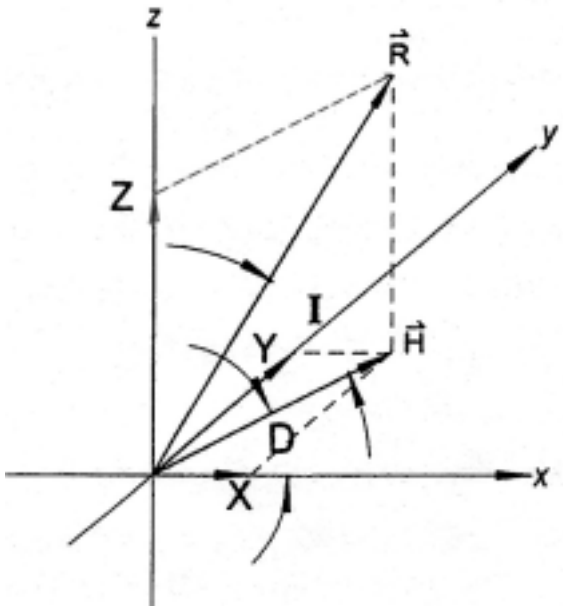


図４　FGM-5DTAA における磁場ベクトルの関係

プローブ上面と先端面上の矢印は、FGM-5DTAA の直角座標系を示しています。
それは、右手系です。矢は、磁場ベクトルの直交座標成分を測るとき、FGM-5DTAA の正の読みとなる磁場ベクトルの方向を示します。LCD に表示されるベクトル成分は、この系にもとずいています。

ベクトルの直交座標と極座標の成分は、お互いに関連があります。
片方の成分から別の系の成分に変換する場合、以下の式を使用して下さい。
FGM-5DTAA はこれらの２つの系のベクトル成分を同等に表示することができます。

$$R = \sqrt{(X^2 + Y^2 + Z^2)}$$
$$X = H \cdot \cos D$$
$$Y = H \cdot \sin D$$
$$Z = R \cdot \sin I$$
$$R = \sqrt{(H^2 + Z^2)}$$
$$H = \sqrt{(X^2 + Y^2)}$$
$$D = \tan^{-1}(X/Y)$$
$$I = \tan^{-1}(Z/H)$$

地球の磁場

我々は地球によって作られる静的磁場の中にいます。この磁場の存在は磁場測定において助けにもじゃまにもなります。方位計(コンパス）というものは良く知られています。コンパスの針はそれ自体磁石です。そして地球の磁場中に置かれるとき地理的な北極に非常に最も近い北の磁極の方を指し示します。地球の磁場は極を除いて地球上の至る所で存在するため役に立ちます。FGM-5DTAA は磁北の方向を求める為のコンパスとして使うことができます。

地球の磁場も隠された対象を見つける助けにもなります。多くの対象物は磁場中に置かれる場合、永久にあるいは一時的に磁化した強磁性体でできています。水道管、light poles、自動車そして多くの器具はこのカテゴリーに分類されます。通常、地球の磁場は広い地域内では非常に均一です。しかし、これらの種類の対象物はその近くで地球の磁場のゆがみを生じさせます。埋められた物や隠された対象を見つけたいとき、これは利点となります。いろいろな場所で磁場を測り、一様性における変化を探すことができます。磁場の変化の空間的なプロットは、対象の場所を正確に認識し、指摘する為に使える「magnetic signature」をつくります。

次の章では、磁北の位置を決定するために FGM-5DTAA を使う場合の手順と、自分の今いる場所での地磁気の測定法について説明します。

コンパスとしての FGM-5DTAA

FGM-5DTAA は、磁北を決定するためのコンパスとして使うことができます。最高の結果を得るために、測定をする前に体からキー、ベルトバックルと腕時計のような全ての強磁性体の物を外します。磁北を求めるために、以下の手順に従って下さい。

1. FCM-5DTAA の電源を入れます。
2. FGM-5DTAA を極座標モードにする為に、POLAR/RECT キーを押します。
3. D 成分の値が表示されるまで、VECTOR キーを押します。
4. プローブのベースを水平に維持したまま、プローブ上面の X 軸をゆっくりと読みがゼロになるまで回転（z 軸にに対して）します。プローブ上面の X 軸矢は、現在磁北の方向を向いています。

地球磁場の測定

地球の磁場ベクトル成分は、FGM-5DTAA を使って測定できます。磁場ベクトルの大きさは、前章の 1 と 2 に続いて、地球磁場ベクトルの測定成分として R を選択することで直接測定できます。この方法では、最も正確な測定結果を得られません。FGM-5DTAA プローブの内部のセンサーの取り付け角度に誤差が生じているかもしれません。地球の磁場ベクトル大きさの最も正確な測定を行う場合次の手順に従って下さい。

1. 前の章で記載した手順を行います。
2. プローブが北を指した状態で、直交座標モードにする為に POLAR/RECT キーを押します。
3. X 軸成分の値が、ディスプレイ上に表示されます。
   磁場の水平成分としてこの値を記録します。
4. Y 成分が現れるまで、VECTOR キーを押します。
   この値は、ゼロに非常に近くなければなりません。
5. 極座標モードにし、そして I 成分が現れるまで VECTOR キーを押します。
   磁場の傾斜角度として、この値を記録します。
6. I 値がゼロになるまで、プローブを傾けます。
7. X 軸成分を表示する為に POLAR/RECT キーを押します。
   地球の磁場ベクトルの大きさとして、この値を記録します。

地球の磁場ベクトルの大きさの測定は、この方法を使えばかなり正確です、しかし、傾斜と水平磁場成分の測定は、水平面からプローブを傾ける精度に依存するため非常に正確というわけではありません。最高の水平成分と傾斜角度を得るためには、磁性のない面を使い、そして表面が水平なことを確かめるために、水準器を使って下さい。

下の表に、アメリカのいろいろな都市における標準的な地球の磁場ベクトルの特性を示します。

表 6　米国のいろいろな都市での地磁気成分

CITY	H(mG)	Z(mG)	R(mG)	I(mG)	D(deg)
WASHINCTON, D.C.	205.35	498.66	539.29	67	-13
NEW YORK, N.Y.	195 .08	515.53	551.21	69	-13
MIAMl, FL	257.21	397.68	473.60	57	-3
CHICAGO, IL	186.43	539.22	570.54	71	-1
DENVER, CO	215.09	506.36	550.15	67	11
SAN FRANCISCO, CA	206,09	497.65	538.54	67.5	19
LOS ANGELES, CA	252.83	422.60	492.46	59	14
SEATTLE, WA	192.08	527.42	561.31	70	20
NEW ORLEANS, LA	247.97	439.02	504.21	61	2
BOSTON, MA	188.81	520.03	553.24	70	-16

この表に記されている値は、測地学の座標を参照しています。

FGM-5DTAA を、D 値が表のそれと同じ値を持つまで、水平面上でセンサーを回転させることによってこれらの都市のどこでも測地学の北の位置を決めるために使うことができます。

静磁場の測定

FGM-5DTAA は、対象が磁化されているかかどうか、そしてそれが作る静的磁場を計るために使うことができます。磁化された対象は、距離に対して著しく減少する静的磁場を持ちます。対象とプローブ間の距離が 2 倍になると、一般的にその本来の値の 1/8 に低下します（r を対象から測定点までの距離として、$1/r^3$ に比例して磁場の大きさはだんだん小さくなります）。

磁化された対象による地球磁場中のゆがみは、対象から近いところのみです。強い磁化の対象は、さらに離れても見つけることができます。永久磁石の磁場は、比較的離れた距離でも FGM-5ＤTAA で計ることができます。通常地球の磁場で磁化される物は、非常により小さい磁場のため、見つけるためには FGM-5DTAA の近くになければなりません。

磁化された対象が地球の磁場中にあるため、FGM-5DTAA によって計られる磁場は両方の磁場の合計となります。それで、対象の磁気のみを、測定値から抽出する方法が必要となります。それは対象の存在に起因する極部的な地球の磁場の変化の測定を行うことで目的は達成できます。直交座標系の成分の変化を測定することは、対象の磁性を特徴づける為の 1 番良い方法です。プローブは地球の磁場中で動かせるので、動かすと直交座標系の成分が変化してしまします。それで測定をするための１番良い方法は、対象をプローブの方へ近づけたり離して測っている間、FGM-5DTAA のプローブを固定することです。

対象は、若干の永久磁化と地球の磁場により誘発された若干の磁化を持ちます。
永久の磁化は、存在する磁場に依存しません。対象が回転すると、永久の磁化によって作られる磁場は回転します。誘導磁気は、地球の磁場ベクトルの方向と大きさ、そして対象の磁気の特性に依存します。対象が磁気的に均一で等方性である（全ての方向で同じ特性）ならば、誘発された磁化は地球の磁場の方向と一致し、比例します。誘導磁気に起因する磁場は、対象が回転することによっては回転しません。対象の回転を含む一連の測定を通して、これらの 2 つの磁化の相対的寄与を決定することができます。磁化された対象が十分に FGM-5DTAA プローブ（少なくとも対象の最も長い寸法の長さの 2 倍）から遠く離れているならば、それが生成する磁場は、対象が 2 つの磁気双極子：永久の磁化を表すものと誘導磁気を表すもの、としてモデル化し、そう仮定することによって近似することができるかもしれません。

対象により生成される磁場を決定する磁気双極子の特性は、磁気双極子モーメントと呼ばれているベクトルです。双極子モーメントベクトルは、対象と関連する座標系に対し相対的に固定される永久に磁化された双極子モーメントベクトル（mxp、myp、mzp）と地球の磁場に対する座標系に相対的に固定される誘導双極子モーメントベクトル（mxi、myi、mzi）の合計です。括弧の中の各項目は、それぞれのベクトルを表現する座標系での直交座標成分です。これらの成分の値がわかっている場合、対象によって発生する磁場は、磁気に関して書かれている一般的な本の中に載っている式を使用して計算することができます。以下に記述する測定手順は、これらの成分の値を決定するための説明です。

データの取り込み

1．テストされる対象の幾何学的中心を決定します。
　これは、全ての回転中心軸です。
2．X 軸(X 方向の寸法）に対する対象の最も長い寸法に印をつけ、そして先に矢印をつけた直線を対象に引きます。
3．もう 2 本の軸、Y と Z 軸と呼ばれている、をX軸とお互いに直角な軸を決めます。対象に向って引いた矢印のついた直線を使って軸の方向を示します。この参照している座標系は右手系であることを確認します。
4．プローブ上に書かれている X 軸の矢を含む平らな表面に FGM-5DTAA のプローブを固定します。

5．直角座標系、X 軸成分を選択します。

6．プローブから測定対象物をかなり離し（影響の無い状態で）、各成分を相対測定モードに設定します。成分の読みは、現在ほぼゼロを示すはずです。

7．対象の中心と X 軸センサーの中心を示している十字カーソルの間の距離が、対象の X 寸法の 2 倍になる場所に、プローブの X 軸の延長線上に沿って、対象を置きます（図 6 を参照）。

8．プローブの X、Y、Z 軸と対象のそれが一致するように、対象を回転させます。
プローブと対象の矢印の方向は、同じ向きで示していなければなりません（図 6 を参照）。

9．対象の中心とプローブの X 軸センサーの中心間の距離を測定し記録します。プローブの Y と Z 軸についても行います。プローブの十字カーソルは、センサーの中心を示します。

10．X、Y、Z 軸の磁場値を FGM-5DTAA で測定し記録します。

11．対象の X、Y 軸の矢印がプローブのそれに対して反対を向く様に、Z 軸について 180 度対象を回転させます。対象の中心が同じ場所にあることを確認します。

12．X、Y、Z 軸の磁場値を FGM-5DTAA で測定し記録します。

13．対象をはじめの状態に戻します。磁場の値は、ステップ 10 で記録した値と同じはずです。

14．対象の X と Z 軸の矢印が対応するプローブの X,Z 軸の矢印と反対方向を向く様に、対象をひっくり返します。プローブ Y 軸と対象の Y 軸は、同じ方向を向いています。

15．X、Y と Z 軸の磁場を FGM-5DTAA で測り記録します。

16．プローブの X 軸の延長上で、プローブから 1 インチの位置に対象を動かします。対象の X. Y、Z とプローブの X. Y、Z 軸と同じ方向を向いています。そして 10 から 15 のステップを行います。

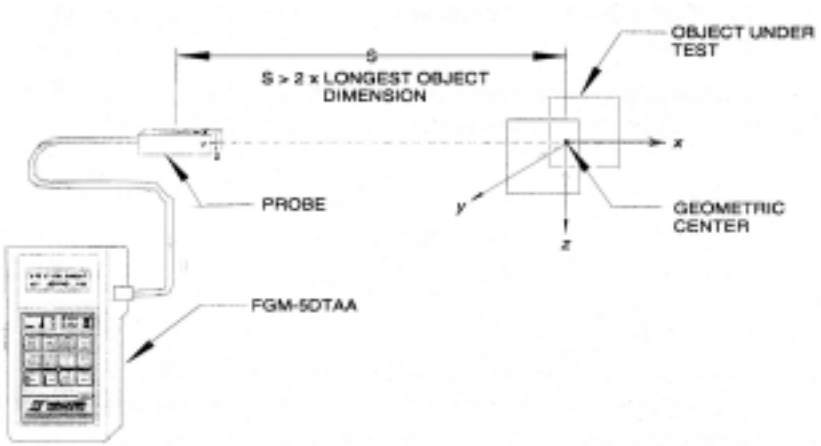


図 5　対象の磁気モーメントを測るときの最初の位置関係

データ整理(換算)

プローブから異なる距離での磁場の測定は、磁化された対象が双極子としてモデル化できることを確かめるために行います。もし双極子モデルが正しい場合、データのプロットは、磁場の強さが距離 r の $1/r^3$ の率で減少していることを示しているはずです。X 軸に対するステップ 9 の距離の測定は、X 軸センサーの中心が Y、Z 軸センサーの中心より遠いため、Y と Z 軸に対するものより 0.5 インチ長くなります。これは考慮に入れておく必要があります。

また、対象の幾何学的中心が、磁気的な中心でないということもありえます。
データが $1/r^3$ 上に乗る様にプロットされた値をシフトすると、磁気的な中心のある位置が明らかになります。シフトの評価は、以下の式を使用し、2 つの測定から計算することができます：

$$d = \frac{(s_2 - s_1 \cdot (R_1/R_2)^{1/3})}{[(R_1/R_2)^{1/3} - 1]}$$

R_1 と R_2 は距離 s_1 と s_2 での読み値。そして、d は測定した距離に、磁気的中心と幾何学的中心間の距離を修正する為に加えるあるいは差し引いく値です。
以下の式を使用し永久の磁化双極子モーメントの成分を計算します：

$$mx_p = (X_0 - X_{180}) \cdot r^3/4$$
$$my_p = (Y_0 - Y_{180}) \cdot r^3/2$$
$$mz_p = (Z_0 - Z_{180}) \cdot r^3/2$$

Xo，Yo，Zo は、対象を回転させる前に、最初に測定された値。X_{180} と Y_{180} は、対象が Z 軸（ステップ 11）に対して 180 度回転させられた後に測定された値。そして Z_{180} は、対象をひっくり返した後（ステップ 14）測定された Z 軸成分の値です。距離 r は、適切なプローブ中心から対象の幾何学中心までの距離です。
以下の式を使用して、誘導磁気双極子モーメントの成分を計算します：

$$mx_i = (X_0 + X_{180}) \cdot r^3/4$$
$$my_i = (Y_0 + Y_{180}) \cdot r^3/2$$
$$mz_i = (Z_0 + Z_{180}) \cdot r^3/2$$

X、Y と Z の測定は、永久磁気双極子モーメントの成分計算のための記述と同じです。

動作について

この章では、FGM-5DTAA の操作法について述べます。

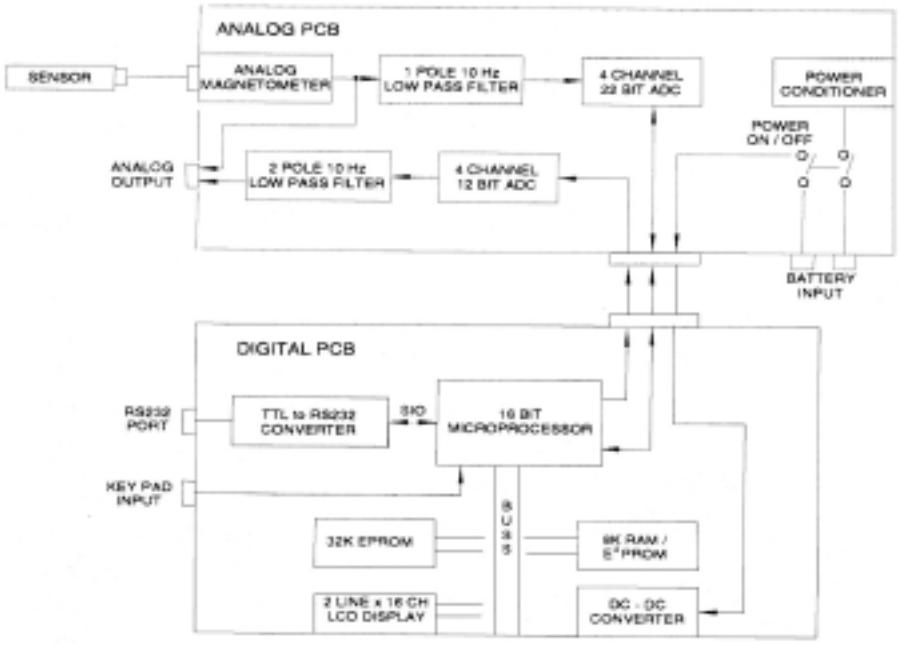


図 6　FGM-5DTAA の機能ブロック図

FGM-5DTAA は、センサユニット、アナログプリント回路基板（PCB）とデジタル PCB の 3 つの大きな部分からなっています。センサユニットは、磁場の 3 つの直交成分を測る為の 2 つのフラックスゲートセンサーを含みます。アナログ磁力計は、センサドライブ信号を供給しそしてセンサ出力信号を処理します。アナログ磁力計の出力は、3 つのアナログ電圧です。これらの信号の大きさと極性は、3 つの磁場ベクトル成分の大きさと方向を表します。これらの信号は、マイクロプロセッサで処理されるた信号と一緒にアナログ出力コネクタを通して手に入れられます。

各々のアナログ磁力計信号は、4 チャネル 22 ビット AD コンバータに入力される前に 1 段の 10Hz ローパスフィルタを通ります。ADC のディジタルフィルタに加えて、これらのフィルタは、ADC のナイキスト周波数を越える周波数を伴う信号によるエイリアシングを最小にします。ADC 出力は、スケールファクタ、ゼロオフセットと配置訂正がなされるマイクロプロセッサボードへ送られます。極座標は、訂正された直交座標系の成分から計算されます。これらの訂正されて計算された成分の値は平均値になり、それから選択された成分は 1 秒に 2 回の割合で、1 行 16 文字、2 列の LCD ディスプレイに表示されます。

リモートコンピュータまたはターミナルとの通信は、三線式 RS232 を通して行います。
TTL-to-RS232 コンバータは、TTL 信号を RS232 の信号レベルに変換します。
FGM-5DTAA をリモートモードにする場合、測定は一時停止し、そして、FGM-5DTAA はリモートターミナルまたはコンピュータからの命令をまちます。FGM-5DTAA が普通のローカルオペレーティングモードの場合、コンバータは電源を節約するためにオフにされます。

32 キロバイトの EPROM には、FGM-5DTAA のオペレーティングプログラムが入っています。
8 キロバイトの RAM は、プログラムによって、そして 7.5SEC、30.0SEC と MANUAL 測定で記録されるデータのために一時的に必要な記憶領域を提供します。RAM は、FGM-5DTAA をオフにした時に、不揮発メモリに RAM のデータを保存し、そして再びオンしたときに、データを元に戻す為の EEPROM を持っています。

FGM-5DTAA は、1 秒につき 69.75 回の割合で磁場の測定をします。訂正されたデータは、同じ率で、4 チャネル 12 ビットのデジタル-アナログ変換器（DAC）へ出力されます。DAC の出力は、アナログ出力コネクタに出力される前に、2 段の 10Hz のローパスフィルタを通ります。結合された 10Hz の入力フィルタと 10Hz の出力フィルターは、非常によい性能の 3 段のフィルタを作り上げます。

DAC に送られるデータは、選択した座票系と各成分で選択したゲインに依存します。直交座標系の場合、（X、Y、Z）成分は処理され DAC に送られます。極座標系の場合、（R、D、I）成分は処理され DAC に送られます。DAC に送られる値は、選択したモードと各成分のゲインにも依存します。モードは、信号が、成分の測定値が絶対値であるか相対値であるかどうかを決定し、そして、ゲインは、出力電圧のスケールファクタを決定します。ゲインと DAC 出力信号の関係を説明している、GAIN 機能に関する章を見て下さい。

フラックスゲートの原理

磁力計の心臓部は、フラックスゲートです。それは、磁場を電圧に変える変換器です。FGM-5DTAA は、磁場の 3 つの成分を測るために 2 つのリングコアフラックスゲートを使っています。1 つのリングコアは、一つの信号用巻線があり、X 軸成分を測ります。第二のリングコアは、2 本の直角の巻き線を持ち、Y と Z 軸成分を測定します。

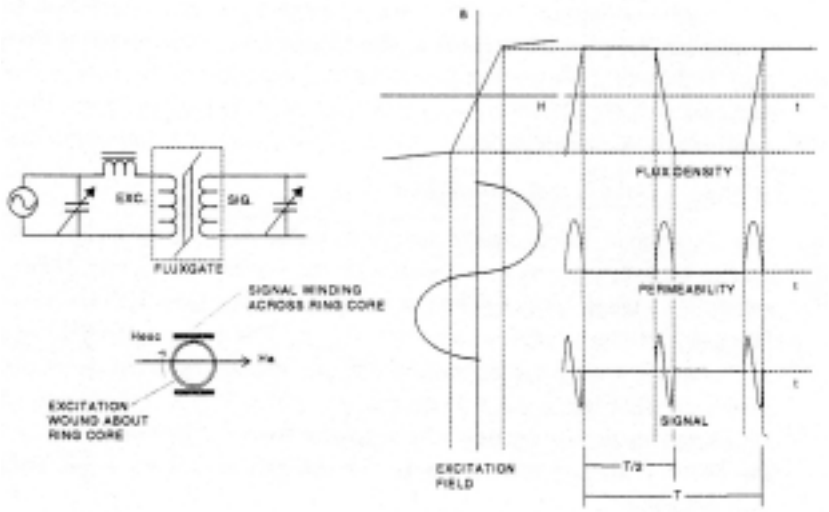


図 7 リングコアフラックスゲートの動作

リングコアフラックスゲートは、簡単に飽和する強磁性体の薄いリボンからできています。例えば 4-79 パーマロイをリングまたはトロイダルを作り上げるためにボビンに巻きつけたもの。図 7 で示すように、交流電流は、トロイダル状に巻きつけているコイルに供給されます。これは、磁性コアのまわりで循環する磁場をつくります。この磁場は、最初に時計回りに、そして、それから反時計回りに定期的に飽和させる鉄系材料内に磁束をつくります。ピックアップ（信号）用の巻き線は、トロイダルの外部に巻かれます。鉄系材料が極端な飽和状態でない場合、それは非常に空気の透磁率より大きい平均の透磁率を維持します。コアーが飽和状態のとき、コアーの透過率は空気のそれと等しくなります。信号用の巻き線に沿った磁場の成分が無い場合、この巻き線による磁束変化はゼロです。他方、磁場の成分が信号用の巻線の軸に沿って存在する場合、鉄系材料が極端飽和状態から極端飽和状態に移るとき、コアーの中の磁束は低レベルから高いレベルまで変化します。ファラデーの法則によれば、磁束が変化しているときには、信号用の巻線に磁束の変化率に比例した電圧を生じさせます。

コアーの透過率が小さな値から大きい値まで振れるので、外部の磁場の大きさと比例する振幅を持つ信号用巻き線の出力と磁場の方向を示す位相を持つ電圧パルスを作ります。信号の周波数は、各励起の繰返しで、飽和から飽和になる回数が 2 回起こる為、励起周波数の 2 倍となります。

アナログ磁力計

フラックスゲートからの信号は、励起信号の第二高調波で同期している振幅変調された抑制搬送波信号です。FGM-5DTAA アナログフラックスゲート磁力計の簡略図を図 8 に示します。
センサーの左側の回路は励起回路と呼ばれます。それは、励起周波数の 2 倍に合わせた発振器、発振器周波数を 1/2 に分けるフリップフロップと励起用巻き線に励起電流を供給する、フリップフロップによって駆動するパワーアンプから成ります。

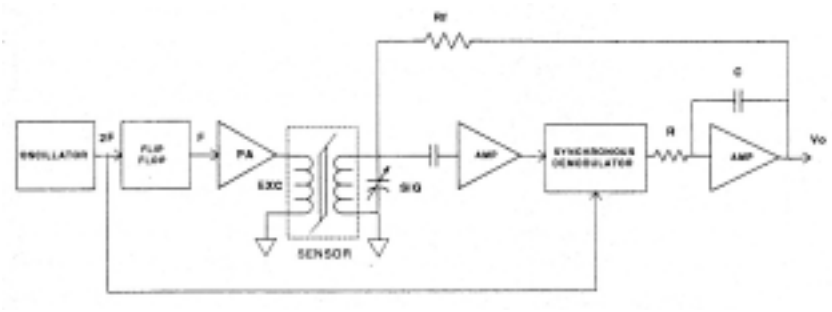


図 8　FGM-5DTAA の 1 チャネルの簡単なブロック図

フラックスゲートの右側の回路は、信号チャネル回路と呼ばれます。それはフラックスゲート信号用巻き線からの出力を増幅し、リファレンスとしての発振器信号を使って AC 信号を同期し復調して、ベースバンド出力を統合し増幅し、それから信号巻き線の抵抗を通して出力をフィードバックします。フィードバック信号はセンサ内に、外部磁場を打ち消す磁場を作ります。これはセンサ内の磁場をほぼゼロに、そして強磁性コアーの磁化曲線の線形部分にコアーを保持します。

これらの状況の下で、伝達関数はほとんど完全に、センサ巻き線の電流-磁場コイルの定数に対する帰還抵抗との比率によって決定されます。これらの定数の両方ともかなり良く制御することができます。この回路の構造により温度または時間に対する回路部品の変化に反応しない、非常に安定し正確な磁力計となります。

信号処理

図 9 は、アナログ磁力計から受け取られるアナログ信号がどのように処理されるかについて示すブロック図です。アナログ信号は最初に、サンプリングプロセスで起こるエイリアシングを減らすために 2 段の 10Hz バターワースローパスフィルタを通ります。フィルタを通ったデータは、550 kHz のレートで ADC でサンプリングし、また 73Hz のコーナー周波数でデジタル的にローパスフィルタをかけられます。デジタルフィルタの伝達関数は、

$$|H(f)| = \left[\frac{\sin \pi f / f_s}{\pi f / f_s} \right]^3$$

です。

fs は出力レート（279Hz） で、f は信号周波数です。

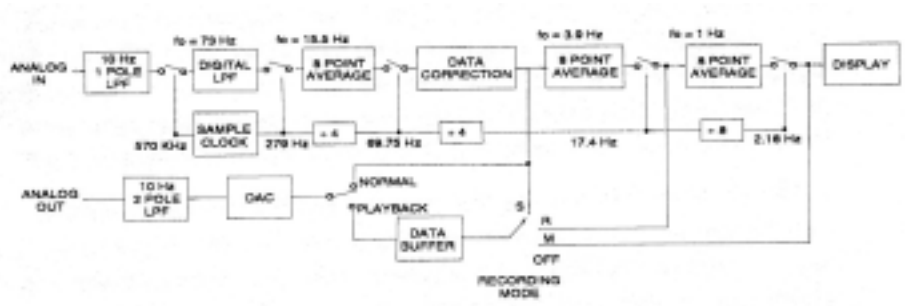


図 9　　FGM-5DTAA の信号処理系のブロック図

ADC 出力は 15.5Hz のコーナー周波数を持つ 8 ポイントアベレージャでデジタル的に処理されます。このフィルタの出力は 1 秒当り 69.75 回サンプリングされ、それから、データはゲイン、ゼロオフセットと角度の訂正がなされます。記録データを表示しないとき、訂正された磁場成分の値は DAC に送られます。DAC 出力信号は、DAC ゲインを掛けられた絶対値あるいは相対値の成分です。これは、7.5 SEC 測定を選択した場合に、記録される信号です。

訂正されたデータは、3.9Hz のコーナー周波数の別の 8 ポイントアベレージャに通されます。このフィルタの出力レートは 1 秒当り 17.4 回です。これは、30.0SEC 測定を選択した場合に、記録される信号です。この信号の 8 ポイントの平均は、1 秒当り 2 回 LCD の上に表示されます。MANUAL サンプルモードの場合と SAMPLE キーを押した場合は、表示された信号は記録されます。

保守

この章は、FGM-5DTAM の保守に関して説明します。

センサプローブ

センサプローブは、防水ではありませんので、水に浸けないで下さい。

天気の悪い時の測定時には、コネクタから水がセンサ内に入らない様に、保護ケース（例えばビニール袋）の中に入れてください。

磁石のような大きい磁場の発生している場所の近くにセンサプローブを置かないで下さい。ゼロ磁場の値が永久にシフトし、センサを元に戻すために消磁する必要があるかもしれません。センサを硬い面に落さない様にして下さい。ハンマーで叩いたり、ケーブルで吊るさないで下さい。このようなことをするとセンサに永久的な障害が生じます。

測定器本体

プローブ同様、本体も防水ではありません。ケース内部に水気が入りこまない様に保護して下さい。ケースを開けないで下さい。

FGM-5DTAM の較正が無効になりますので自分では決して修理しないで下さい。もし測定器に問題が発生した場合は、WALKER SCIENTIFIC の技術サポートか代理店に連絡してください。

乾電池の交換

FGM-5DTAA には、本体の裏蓋の中に 2 つの乾電池が取りつけられています。電池ケースの一つには、DIGITAL と表示され、デジタル PCB 回路用のものです。もう一つはアナログ PCB 回路用の乾電池です。両方の乾電池は、普通に市販されている 9V の乾電池です。表 7 に対応する交換用乾電池を示します。リチュームバッテリーは最も長く使用できます。FGM-5DTAA はこれらのどの乾電池でも正しく動作します。デジタル PCB はアナログ PCB より多くの電力を必要とする為、電池を交換する頻度が高くなります。アナログ PCB にアルカリ乾電池を使用し、デジタル PCB にリチューム電池を使用することで、2 つの電池の寿命をほぼ同じにすることができます。

表 7　FGM-5DTAA 交換用乾電池

製造元	Part 番号	タイプ
Eveready	No.522	アルカリ
Duracell	MN1604	アルカリ
Eveready	E146X	酸化銀
Ultralife	U9VL	リチューム

センサ及びケーブルコネクタのクリーニング

長期間、センサケーブルコネクタを本体とセンサのオスコネクタに接続していることで汚れたり酸化したりします。このような状況では FGM-5DTAA の測定性能が悪化するかもしれません。センサの位置を変えたり、電源を ON と OFF しても普通の動作をしない場合、接触部分をクリーニングしなければなりません。

その場合以下の手順でクリーニングして下さい。

1. 若干のイソプロピルアルコールをコネクタ端子の上にたらします。
2. やさしく、Q-チップか小さい固い剛毛ブラシを前後に動かし、接触部分をこすり洗いして下さい。
3. 洗浄後、最低 10 分間乾燥してから接続してください。
4. 圧縮空気が利用できる場合、それで乾燥させてください。FGM-5DTAA は直ぐに使用できます。

FGM-4DTAM を長時間使っていなかったときはいつでも、FGM-5DTAA を使う前にセンサケーブルコネクタとそれにつながるコネクタの接触部分をきれいにしてからお使い下さい。プローブと測定器本体を取りかえたり、ケーブルあるいはケーブルの長さの異なるものは使用しないで下さい。このようなことをすると、FGM-5DTAM の較正が無効になります。

較正について

FGM-5DTAA は、少なくとも 1 年間は仕様を満たすことを保証します。FGM-5DTAA の性能が仕様を満たすために毎年再調整をしなければなりません。Walker Scientific は、National Institute of Standards and Technology (NIST)に基ずいた較正証明書発行を含む較正を実行することができます。

保証

Except as otherwise expressly stated herein, company makes no warranty of any kind whatever, express or implied, with respect to the goods sold or to be sold hereunder and all implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose are hereby disclaimed by the company and excluded from this agreement and sale. Purchaser agrees that there are no, and will be no understandings, agreements or representations, expressed or implied, not specified herein regarding this order or sale. Purchaser further agrees that in the event of a breach of any warranty by the company, the liability of the company shall be expressly limited to the remedies set forth herein and the company shall not be liable for any other damages, direct or indirect, including lost profits or incidental or consequential damages of any kind.

The company agrees that, for a period of one year from the date of sale thereof, the goods shall be free from defects in material and workmanship and agrees to replace, FOB the company's factory, any part or parts malfunctioning within such one year period, excluding fuses and batteries, provided the purchaser has given immediate notice of such malfunction and such malfunction, in the opinion of the company, shows immistakable evidence of, and is solely due to, defective material or workmanship. The liability of the company shall not in any case exceed the cost of repairing or replacing defective parts. At the end of said one-year period, all liability of the company shall cease and terminate. In connection with any repair performed by the company pursuant to this provision, the company shall have the right to make such changes in design and construction as it deems advisable for the purpose of improving the goods or meeting any special condition. The company makes no warranties with respect to goods or services of other manufacturers or services and disclaims all liability therefor.

The warranties and remedies set forth in this paragraph are exclusive of all other warranties and remedies; they are not altemative warranties and remedies.

If fault has been caused by misuse or abnormal conditions of operation, repairs will be billed at a nominal cost. If so requested, an estimate will be submitted before work is started.